



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**  
**Instituto de Ciências Humanas - IH**  
**Departamento de Geografia - GEA**

José Roberto Gonçalves de Rezende Filho

**ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE RUÍDO EM IMAGENS DE  
SÉRIES TEMPORAIS NDWI DO SENSOR MODIS NA ILHA DO BANANAL**

**Brasília**  
**2013**



José Roberto Gonçalves de Rezende Filho

## **ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE RUÍDO EM IMAGENS DE SÉRIES TEMPORAIS NDWI DO SENSOR MODIS NA ILHA DO BANANAL**

Monografia de final de curso submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

**Brasília**  
**2013**



José Roberto Gonçalves de Rezende Filho

## **ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE RUÍDO EM IMAGENS DE SÉRIES TEMPORAIS NDWI DO SENSOR MODIS NA ILHA DO BANANAL**

Monografia de final de curso submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Geografia.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior (Orientador) – UnB

---

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães – UnB

---

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes – UnB

**Brasília**

**2013**

## RESUMO

O sensoriamento remoto permite estudar os fenômenos da superfície terrestre em diversas escalas espaciais e temporais, que, ao serem analisados a partir dos conceitos de paisagem e território usado, consistem em uma maneira de entender o espaço geográfico. A constante transformação dos ecossistemas, de forma abrupta ou contínua e de origem humana ou natural, cria a necessidade do desenvolvimento de técnicas que tenham a capacidade de detectar essas mudanças, identificar suas causas e monitorar o processo. Este trabalho se volta para as análises de séries temporais contínuas, que podem ser usadas no monitoramento de ecossistemas já que a continuidade dos dados permite traçar um perfil para o comportamento sazonal de cada fitofisionomia. Busca-se aqui aplicar técnicas de análise temporal para identificar as assinaturas temporais presentes na Ilha do Bananal no estado do Tocantins, a maior ilha fluvial do mundo. Formada pela bifurcação do rio Araguaia que corre no sentido sul-norte. Primeiramente será feita uma descrição das características da região, as quais se pretende identificar pelo método proposto. A partir disso, o trabalho será desenvolvido em quatro etapas de manipulação dos dados: 1) obtenção das imagens MODIS e montagem dos cubos temporais; 2) cálculo do índice NDWI; 3) tratamento de ruídos por meio da aplicação de filtros estatísticos utilizando os métodos da mediana e de Savitzky-Golay, e; 4) classificação por meio do ISODATA e do SAM. O filtro de mediana, utilizado da maneira correta, demonstrou a capacidade de eliminar picos ao mesmo tempo em que preserva os dados. Já o Savitzky-Golay se mostrou útil na suavização do perfil espectral, mantendo as formas e inflexões das assinaturas temporais. O classificador ISODATA identificou 5 classes, que serviram de base para a classificação espectral. A biblioteca espectral usada na classificação SAM discriminou 6 comportamentos distintos do índice NDWI.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Filtragem Espectral; Cubo Temporal; Assinatura Espectral; Detecção de Mudança.

## ABSTRACT

Remote sensing allows us to study the phenomena of the earth's surface at various spatial and temporal scales, which, when analyzed from the concepts of landscape and used territory, are a way of understanding the geographic space. The constant transformation of ecosystems, abruptly or continuously and human induced or from natural origin, creates the need to develop techniques that are able to detect these changes, identify their causes, and monitor the process. This paper turns to the analysis of continuous time series which can be used in the monitoring of ecosystems, given that the continuity of data allows tracing a profile for the seasonal behavior of each phytophysiognomy. We seek to apply temporal analysis techniques to identify temporal signatures present in the Bananal Island surface. It is the largest fluvial island in the world, formed by bifurcation of the Araguaia River which flows from south to north. Firstly there will be a description of the regions characteristics that are intended to be identified by the proposed method. From then on the work will be developed in four stages of data manipulation: 1) obtaining MODIS images and assembling temporal cubes; 2) NDWI index calculation; 3) noise treatment through the application of statistical filters, using the median method and Savitzky-Golay filter, and; 4) the classification by ISODATA and SAM. The median filter was applied correctly, demonstrating the capacity of eliminating peaks while preserving the data. The Savitzky-Golay has been proved useful in the spectral profile smoothing, keeping the forms and inflections of time signatures. The ISODATA classifier identified five classes, which served as basis for spectral classification. The spectral library used in the SAM classification discriminated six different NDWI behaviors.

**Keywords:** Remote Sensing; Spectral Filters; Temporal Cube; Spectral Profile; Change Detection.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Especificações do produto MOD09A1.....	19
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Ilha do Bananal.....	14
Figura 2 – Composição Colorida – R1;G2;B3.....	20
Figura 3 – Cubo Temporal.....	21
Figura 4 – Perfil do espectro temporal original.....	21
Figura 5 – Amostra de ruído na banda 5.....	22
Figura 6 – Resultado do Filtro de Mediana – A) Espectro original; B) Espectro após o filtro de mediana.....	27
Figura 7 – Resultado do Savitsky-Golay – A) Espectro após o filtro de mediana; B) Espectro após o filtro de Savitsky-Golay.....	28
Figura 8 – Resultado da classificação – A) ISODATA; B) SAM.....	29
Figura 9 – Biblioteca Espectral.....	30
Figura 10 – Detecção de Mudança.....	32

**LISTA DE SIGLAS**

BRDF – *Bidirectional Reflectance Distribution Function*

EPA – *Enviromental Protetection Agency*

FPAR – *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*

HDF – *Hierarchy Data Format*

ISODATA – *Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*

LAI – *Leaf Area Index*

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NDWI - *Normalised Difference Water Index*

SAM – *Spectral Angle Mapper*

SIG – *Sistema de Informação Geográfica*

TIFF – *Tagged Image File Format*

UNESCO – *Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura*

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

VI – *Vegetation Index*



## SUMÁRIO

Sumário.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
<b>1. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. PASSOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Imagens MODIS e Cubos Temporais .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Índice NDWI .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Tratamento de Ruídos.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Classificação e Detecção de Mudança.....</b>	<b>24</b>
<b>3. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Resultado do Tratamento de ruídos.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Resultado da Classificação e Detecção de Mudança.....</b>	<b>28</b>
CONCLUSÃO.....	33
BIBLIOGRAFIA .....	35

## INTRODUÇÃO

A Geografia, mesmo antes de se estruturar como ciência, sempre buscou entender a relação entre o homem e o meio e entre a sociedade e a natureza, independente da importância que cada corrente ou autor atribuísse a esses elementos (Moraes, 1981). Dentro desta perspectiva, Christofolletti (1985) destaca a definição cunhada por Demangeon, em 1942, na qual a Geografia é “o estudo dos grupos humanos nas suas relações com o meio geográfico”.

Santos (1978) parte do princípio que a definição do objeto da ciência permite construir um sistema de identificação e de categorias de análise. Esse objeto é o espaço geográfico o qual pode ser definido de maneira abrangente como “um sistema de objetos e um sistema de ações” (SANTOS, 1996), organizado por relações entre os binômios forma/função e estrutura/processo (Santos, 1985).

Uma das formas de manifestação da relação entre esses elementos e de apreensão do espaço geográfico é a maneira de ocupação e utilização da superfície terrestre, o uso do território. Steinberger (2006) retoma a ideia do território usado, onde a união do sistema de objetos e ações, e suas técnicas respectivas, atribuem diversas funções a um território, tornando-o fragmentado. O território usado é uma construção histórica onde se encontram as diversas funções do espaço.

A função do espaço está contida em sua forma, e, segundo Santos (1996), o conjunto das formas que exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre o homem e a natureza, em um dado momento, é a paisagem. Metzger (2001) resume diversas abordagens do conceito de paisagem como uma noção de espaço que ganha sentido através da percepção de um observador, perspectiva em que o ponto central é a visão do homem sobre um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas. Essas unidades são formas dotadas de funções, portanto o estudo da paisagem é fundamental para entender o uso do território.

Câmara et. al.(2001) destaca a importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no meio técnico-científico-informacional, e, na busca de uma fundamentação teórica com base na Geografia, define o princípio básico da Ciência da Geoinformação como a “construção de representações computacionais do espaço”, onde o sensoriamento remoto tem um papel fundamental como uma fonte de informações única (D’Alge, 2001), um ponto de vista privilegiado para a apreensão da paisagem.

O desenvolvimento, o aperfeiçoamento e a avaliação de técnicas de sensoriamento

remoto são de grande valor científico à medida que têm um potencial real para identificar problemas e apontar soluções em diversas áreas do conhecimento. Por meio do estudo da superfície terrestre, dos oceanos e da atmosfera, é possível obter resultados que oferecem uma visão integrada dos fenômenos naturais e antrópicos que se desdobram no planeta. O rápido desenvolvimento do processamento digital, aliado a uma maior disponibilidade de dados provenientes de sensores orbitais, permite trabalhar com uma quantidade cada vez maior de informação, resultando em análises mais ricas, amplas e precisas, o que significa maior resolução e amplitude temporal, espacial e espectral.

Ecossistemas estão constantemente em processo de transformação, dinâmica que foi definida por Milne (1988) como uma alteração nos componentes superficiais da cobertura vegetal. Zhang (2006) aponta para um crescimento da relevância de estudos da fenologia para diversas áreas do conhecimento, uma vez que a identificação da dinâmica sazonal da vegetação, e seu comportamento em maiores períodos de tempo, permite identificar interações em larga escala entre a superfície terrestre, o clima e as atividades humanas.

Essas mudanças podem ocorrer de forma abrupta, a exemplo de queimadas, ou de forma sutil e gradual, como no caso da acumulação de biomassa, podendo ou não alterar a classificação do tipo de uso (Coppin et. al., 2004). Também é importante destacar que elas podem estar ligadas direta ou indiretamente à ação humana, como desmatamento, expansão da agricultura ou redução da disponibilidade de recursos hídricos. O simples mapeamento de uma região não fornece informações suficientes para uma análise aprofundada do conjunto de fatores que atua em um ecossistema, portanto a detecção de mudança é um assunto de grande importância para o sensoriamento remoto e para a Geografia, com o potencial de fornecer produtos visuais e dados quantitativos e qualitativos que demonstrem, não só como o território é estruturado, mas a trajetória de utilização deste espaço.

A detecção de mudança bi-temporal, é um método bastante difundido de análise temporal discreta. Segundo Coppin et. al. (2004), ela consiste na comparação entre duas imagens que devem ser obtidas em datas aniversário, o que tende a minimizar discrepâncias na reflectância devido a características sazonais e a diferenças no ângulo de incidência da luz solar, porém fatores conjunturais do ambiente podem provocar disparidades fenológicas que venham a interferir no resultado. Normalmente a seleção das imagens é feita de acordo com a disponibilidade de dados com baixa presença de ruídos.

A detecção de mudança por meio de análises temporais discretas é uma técnica que encontra limitações no que se refere à resolução temporal e a pouca amostragem de dados.

Isso se deve ao fato de serem utilizadas poucas imagens com grande espaçamento temporal, com o risco de a amostra apresentar variações fora da curva normal. Lunnetta et. al. (2006) indica que a comparação da variação espectral entre duas datas é limitada pelas variações entre os diferentes estágios de desenvolvimento da vegetação que pode resultar em erros na análise dos resultados.

Dentro do escopo de ferramentas do sensoriamento remoto, este trabalho se volta para as análises de séries temporais contínuas. Elas podem ser definidas como encadeamentos de dados de um mesmo parâmetro em diferentes tempos, ordenados cronologicamente com intervalos definidos. As séries temporais podem ser usadas para monitorar mudanças sazonais da vegetação e o comportamento fenológico de diferentes culturas. Sakamoto et al. (2005) aplica esta técnica na identificação do momento do plantio e da colheita em arrozais, por meio da variação do Índice de Vegetação (VI).

Carvalho Júnior et al. (2006) aponta para as aplicações de séries temporais no monitoramento de ecossistemas, uma vez que a continuidade dos dados permite traçar um perfil para o comportamento sazonal de cada fitofisionomia, assim como identificar mudanças nas características biofísicas e bioquímicas da vegetação, demonstrando sua eficácia na identificação do padrão de variação temporal de mata seca na bacia do Paranã. A partir das assinaturas temporais é possível identificar fenologias específicas para cada formação fitofisionômica e utilizá-las para classificar padrões de uso e cobertura do território. Carvalho Júnior et al. (2008) utiliza séries temporais contínuas do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), provenientes do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), para classificar as diferentes fitofisionomias do cerrado no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.

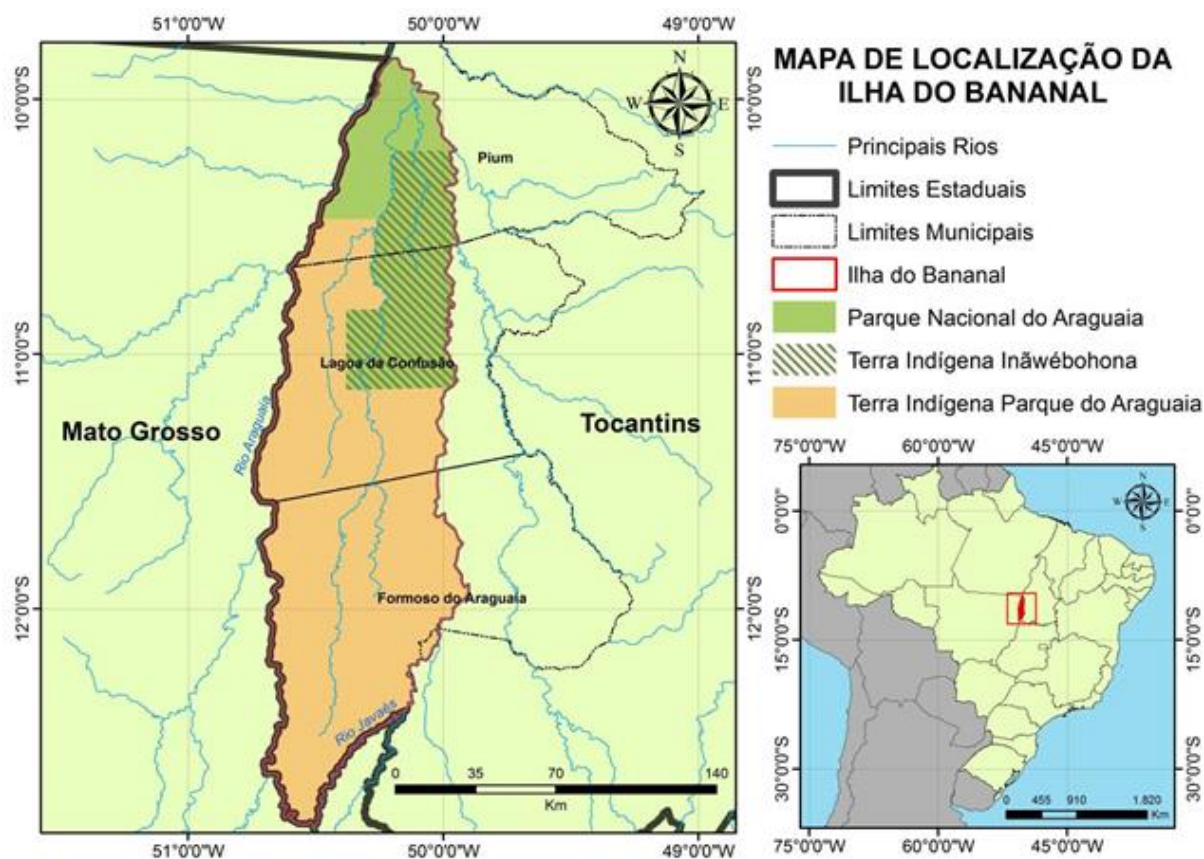
Este trabalho objetiva a aplicação de técnicas de análise temporal contínua para identificar as assinaturas temporais das unidades fitofisionômicas presentes na Ilha do Bananal, localizada no estado do Tocantins. A partir da montagem de cubos temporais de imagens do sensor MODIS, será calculado o índice NDWI (*Normalised Difference Water Index*), cujo comportamento espectro-temporal será analisado em conjunto à classificação das formações da vegetação na região.

O resultado deste trabalho pode servir de base no acompanhamento da evolução do uso da terra na Ilha do Bananal que, por se tratar de uma área protegida, deve ser constantemente monitorada. O estudo é de grande contribuição científica, uma vez que busca o aperfeiçoamento de técnicas de classificação e de detecção de mudanças a partir de séries

temporais, além de fornecer informações que podem contribuir para a preservação de uma região que apresenta uma combinação única de características bióticas e abióticas.

## 1. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Bananal está localizada no sudoeste do estado do Tocantins, fazendo divisa com Mato Grosso a oeste, com Goiás ao sul, e, ao norte, chegando próximo ao limite do estado do Pará. Ela está inserida em três municípios tocantinenses – Pium, Lagoa da Confusão, e Formoso do Araguaia, abarcando, respectivamente, as porções norte, centro e sul da ilha. Sua área é de cerca de 20 mil quilômetros quadrados e tem grande extensão latitudinal do extremo norte ao sul, chegando a uma distância de aproximadamente 330 km, dimensões que garantem à Ilha do Bananal a posição de maior ilha fluvial do mundo.



**Figura 1 – Localização da Ilha do Bananal**

Sua combinação única de características naturais instiga diversas iniciativas de proteção e preservação nos níveis nacional e internacional. Primeiramente, a Ilha do Bananal é dividida entre o Parque Nacional do Araguaia ao norte, com parte de sua área sobreposta pela Terra Indígena Inãwébohona, e a Terra Indígena Parque do Araguaia ao sul. Além disso, a ilha é uma Zona Úmida de Importância Internacional definida pela convenção Ramsar (2013), também considerada uma Reserva da Biosfera pela UNESCO (2009).

Em termos geológicos a Ilha do Bananal está em uma bacia sedimentar cenozóica, na província tectônica do Tocantins, localizada no Escudo Atlântico, de formação cristalina (Da

Silva et al., 2003). A Bacia do Bananal é constituída por sedimentos depositados pelo rio Araguaia, com uma sucessão de camadas que vão de um conglomerado basal, seguida por siltes e areias mal estratificadas (Araújo e Carneiro, 1977).

Localiza-se na unidade geomorfológica da Planície do Bananal, descrita pelo Projeto RADAMBRASIL (1981) como uma ampla faixa deposicional relacionada ao curso do rio Araguaia, cujas características principais são: 1) a dominância de superfícies extremamente planas, tanto dentro quanto nos arredores da ilha; 2) a ocorrência de sedimentação recente, proveniente de inundações periódicas, e; 3) a predominância de rios e drenagens anastomosadas, além de marcas de paleodrenagens, como meandros abandonados. Ela se divide em dois compartimentos geomorfológicos: 1) a planície fluvial, uma faixa marginal dos cursos d'água onde se encontram feições típicas da geomorfologia fluvial, como ilhas, meandros e diques fluviais, e; 2) áreas de acumulação inundáveis, interflúvios com pequena altitude que sofrem inundações periódicas. O projeto destaca a expressividade da Ilha do Bananal nesta unidade geomorfológica.

A ilha é contornada pelo rio Araguaia que se bifurca ao sul formando o Braço Menor do Araguaia, mais conhecido como rio Javaés. No extremo norte da área de estudo, como pode ser visto na Figura 1, os rios voltam a se encontrar. Sua formação é possível à medida em que o rio Araguaia sofre uma redução na sua energia ao entrar na planície de inundação, perdendo capacidade de transportar sedimentos que serão depositados na região, o que permite uma constante reformulação e mobilidade dos cursos d'água, onde Latubressa e Stevaux (2002) identificam paleocanais aluviais, e características pantanosas e lacustres. Os principais canais da região têm características anastomosadas, enquanto os canais secundários são geralmente meandrantos, a orientação S-N é predominante em ambos os padrões (Brasil, 1981).

A Convenção Ramsar definiu zona úmida (Wetlands) como “Áreas de inundação permanente ou periódica/intermitente, seja natural ou artificial, com água estática ou em fluxo, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marinha em que a profundidade máxima na maré baixa não passa de 6 metros” (RAMSAR, 1971, tradução própria). A Ilha do Bananal se encaixa neste conceito, devido à sua dinâmica fluvial de inundação periódica. Além disso, os solos predominantes estão relacionados ao regime hidrológico e, em sua maioria, se encontram lateritas hidromórficas e gleissolos pouco húmicos (Brasil, 2001).

O clima da região é condicionado pela massa de ar equatorial continental, e pela proximidade com a zona de convergência intertropical, quente e úmida. Na classificação

Köppen-Geiger corresponde ao clima Aw, de característica tropical megatérmica com períodos úmidos e secos definidos. O período chuvoso compreende os meses de outubro a abril e o seco de julho a agosto, com um mês de transição entre as duas estações. Os meses com as maiores taxas pluviométricas são dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média é de aproximadamente 26°C, com a média mínima mensal de 20°C no mês de julho, e as máximas de 38°C em agosto e setembro, o que corresponde ao fim do período seco, no qual as temperaturas podem atingir 40°C (Brasil, 2001).

A Ilha do Bananal é uma zona de ecótono que abriga características do bioma amazônico, encontrado ao norte e ao oeste da região, e do Cerrado, ao sul e ao leste. Segundo o Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia (2001), existem três regiões fitogeográficas principais na Planície do Bananal: 1) a Região de Savana ou Cerrado; 2) Região de Floresta Ombrófila Aberta, e; 3) Região de Floresta Estacional Semidecidual.

Na Região de Savana destacam-se duas formações principais. A primeira é a savana arbórea densa, mais conhecida como cerradão, que é em geral perenifólio com árvores baixas, de 7 a 15 metros, lenhosas com o aspecto raquítico e cascas cortiçosas. Não possui estrato arbustivo, mas possui cobertura considerável de gramíneas. A segunda formação em destaque é a de savana parque com floresta de galeria, dominante na paisagem da Ilha do Bananal e ocupante das áreas planas de inundação, muitas vezes apresentando campos de murundu. Desenvolve-se sobre gleissosolos, área de drenagem imperfeita com nível freático próximo. Tem uma formação paisagística característica, com cobertura esparsa de pequenas árvores ou moitas de plantas lenhosas que se agrupam em amontoados de terra que lembram cupinzeiros, com espaçamentos de 5 a 20 metros e circunferência de 4 a 10 metros. A floresta de galeria apresenta árvores delgadas de pequeno porte com alguns indivíduos emergentes de fustes eretos (Brasil, 2001).

Outras fitofisionomias do cerrado também são encontradas, como formações gramíneo-lenhosas que se desenvolvem em terrenos perenemente úmidos nas partes mais baixas da planície de inundação, chamados de campo limpo que, em áreas de transição, são denominados campo sujo. Também são encontradas áreas de savana arbórea aberta em porções mais restritas da região, nas áreas de topografia mais elevada sem alagamento. Apresentam cobertura lenhosa, de 10 a 60% da área, em sua maioria de pequeno porte (3 a 7 metros), além de uma cobertura integral de gramíneas. Podem ser denominados de campo cerrado ou cerrado stricto sensu, dependendo da cobertura arbórea (Brasil, 2001).



A Região de Floresta Ombrófila Aberta é uma transição entre as formações amazônicas e extra-amazônicas. Dentro do Parque Nacional é encontrada em uma área restrita, com uma formação específica submontana com cipó, apresentando indivíduos de porte médio e bem espaçados, envolvidos por lianas que podem formar um denso emaranhado. Esta região fitogeográfica se desenvolve de maneira mais ampla no noroeste da Planície do Bananal (Brasil, 2001).

A Mata do Mamão, localizada ao sul do Parque Nacional, é a área mais representativa da Região de Floresta Estacional Semidecidual. Na Ilha do Bananal esta formação é aluvial, apresentando matas ciliares inundáveis. O caráter estacional se dá pelo periodismo da fenologia provocada pelos períodos de inundação e de estiagem, ocupando vales em terrenos de solo hidromórfico. A maioria das espécies que a compõem tem um porte de 15 a 20 metros, alguns indivíduos podem chegar a 30 metros, e em alguns casos são vicariantes da Amazônia. Seu caráter semidecidual se dá pela presença de 30% de espécies caducifólias (Brasil, 2001).

O Plano de Manejo (2001) destaca a estacionalidade das formações vegetais. No caso das formações de cerrado a fenologia esta mais relacionada ao clima, pois são mais afetadas pelas estações secas – no caso das florestas aluviais ela está mais ligada ao regime hídrico e às cheias periódicas. Também chama atenção para a ação antrópica das comunidades indígenas e para as consequências, ainda recentes na época que o estudo foi realizado, da introdução de gado na região de savana parque nos períodos de seca, uma vez que sua densa camada graminosa se assemelha às pastagens propícias para a pecuária.

Em relação ao uso da terra na Ilha do Bananal, é esperado que nenhuma atividade antrópica recente considerável seja identificada, porém nos arredores da ilha a pecuária é amplamente encontrada. De acordo com Brasil (2001), as comunidades indígenas que ocupam a ilha são os Karajá, Javaés, Tapirapé e Avá-Canoeiro.

Por fim, deve-se considerar que as formações de cerrado estão adaptadas às queimadas naturais que ocorrem na estação seca, porém as formações florestais sofrem com o impacto do fogo. Normalmente as queimadas ficam restritas às bordas dessas áreas devido à grande umidade, contudo, em períodos de seca mais prolongados, essas queimadas podem se intensificar, causando grande perturbação no ecossistema (Brasil, 2001).

## 2. PASSOS METODOLÓGICOS

O trabalho será desenvolvido em quatro etapas de manipulação dos dados: 1) obtenção das imagens MODIS e montagem dos cubos temporais; 2) cálculo do índice NDWI; 3) tratamento de ruídos por meio da aplicação de filtros estatísticos, utilizando os métodos da mediana e de Savitzky-Golay, e; 4) classificação e identificação dos padrões fenológicos

### 2.1 Imagens MODIS e Cubos Temporais

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal sensor a bordo da plataforma orbital TERRA (EOS-AM1), lançada pela NASA em dezembro de 1999. As principais características deste sensor são: 1) ampla resolução, tanto espacial quanto espectral; 2) continuidade de medições que já vinham sendo feitas, complementando informações já existentes; e 3) coleta de dados para subsidiar estudos relacionados a detecção de mudanças em escala global (Anderson et al., 2003).

A resolução espectral do sensor é de 36 bandas, com comprimentos de onda que variam de 405 nm até 14.385 nm. A resolução espacial varia entre 250 metros, para as duas primeiras bandas; 500 metros, da primeira à sétima banda; e mil metros para as demais (NASA, 2013). Assim, o MODIS é dotado de uma resolução espacial moderada, mas possui grande cobertura espectral e temporal, uma vez que orbita o planeta diariamente.

Segundo Barker (apud Anderson et al, 2003) as bandas 1 a 7 captam informações da superfície terrestre; as bandas 8 a 16 estão direcionadas para observação do oceano; as 17 a 19 tem aplicações atmosféricas; e as demais bandas captam a porção termal do espectro.

O produto utilizado neste trabalho é MOD09A1, cujas especificações podem ser vistas na Tabela 1. Seus pixels são gerados a partir da melhor composição temporal em um período de oito dias (Vermote et al., 2008). Justice et al. (2002) explica que a composição temporal se dá pela seleção de dados em múltiplas imagens, reduzindo o impacto de nuvens e ruídos no produto final.

Os dados dos produtos MOD09 servem como base para a obtenção de índices relacionados à superfície terrestre, como BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*)/Albedo, FPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*)/Lai (*Leaf Area Index*), e índices de vegetação (Latorre et al. 2003).

**Tabela 1 – Especificações do produto MOD09A1**

<b>Bandas</b>	<b>Resolução Espectral</b>	<b>Centro Espectral</b>	<b>Resolução Espacial</b>
1	620 - 670 nm	648 nm	500 metros
2	841 - 876 nm	858 nm	
3	459 - 479 nm	470 nm	
4	545 - 565 nm	555 nm	
5	1230 - 1250 nm	1240 nm	
6	1628 - 1652 nm	1640 nm	
7	2105 - 2155 nm	2130 nm	

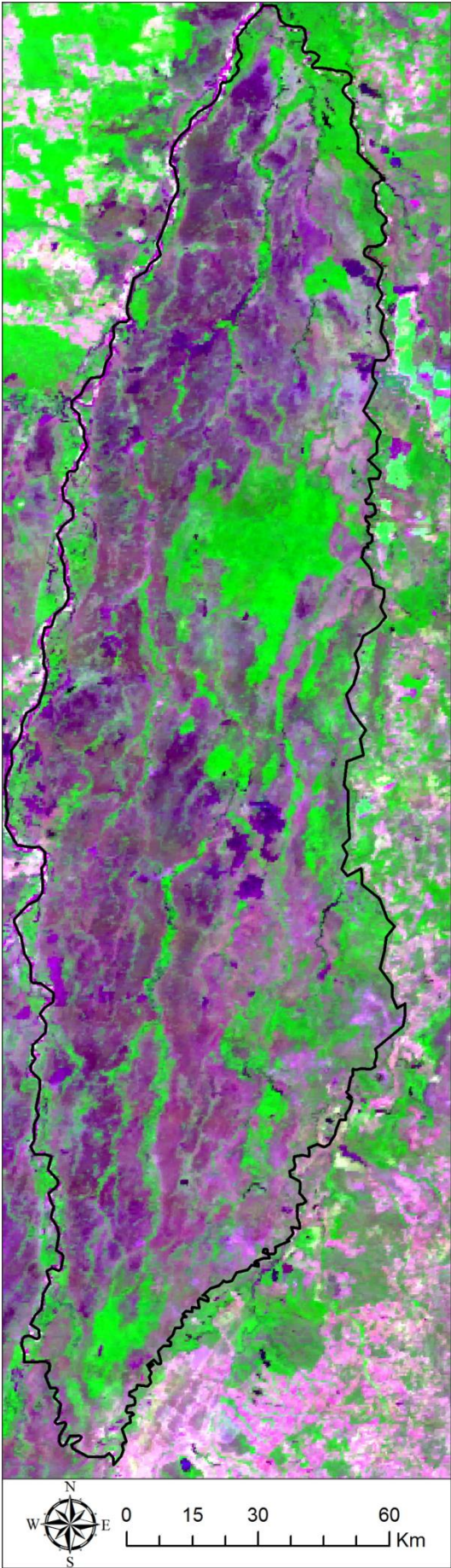
Fonte: Adaptada de Vermote et al. (2008) e Latorre et al. (2003)

Foram obtidas imagens desde o primeiro produto disponível do ano 2000, até o último produto de 2012. Por se tratar de um produto amostrado de oito em oito dias, cada ano possui 46 imagens<sup>1</sup>, exceto o primeiro ano da série, no qual as imagens estão disponíveis a partir do 49º dia, contendo 40 imagens. A série temporal de dados, portanto, engloba um período de aproximadamente treze anos, com intervalos contínuos de oito dias, e um total de 591 imagens.

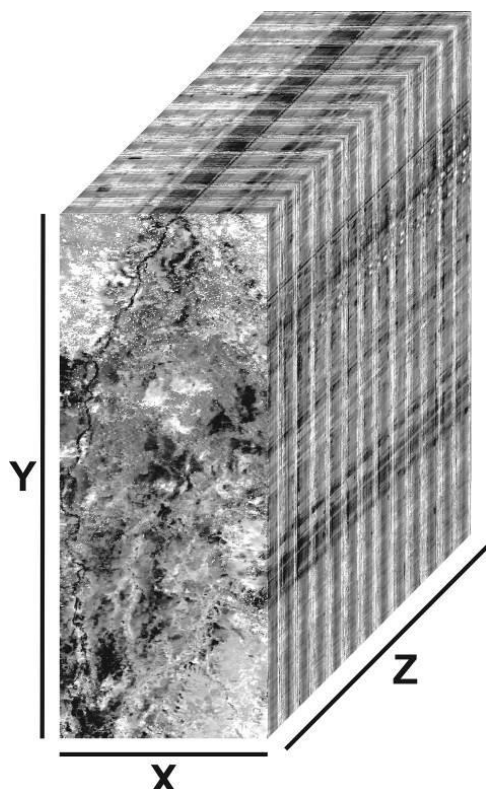
A Figura 2 mostra uma composição colorida das imagens obtidas no mês de julho de 2012, no período seco, permitindo observar o aspecto da paisagem sem a interferência de nuvens. A composição foi feita utilizando a banda 1 para o vermelho, a banda 2 para o verde e a banda 3 para o azul, com o objetivo de dar maior contraste à vegetação.

Originalmente os dados são armazenados no formato HDF (*Hierarchy Data Format*) e disponibilizados na projeção sinusoidal. Carvalho Júnior et. al. (2006) recomenda o Software MODIS Reprojection Tools para converter as imagens ao sistema de projeção geográfica. Nesta etapa também foi feita a separação das bandas e a conversão para o formato GEOTIFF, tornando possível a montagem de uma série temporal para cada faixa do espectro.

<sup>1</sup> A imagem referente ao dia 168 de 2001 não estava disponível, portanto esse ano conta com 45 imagens.



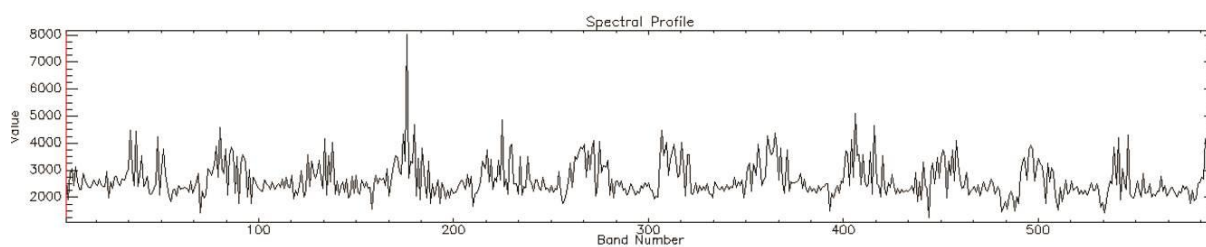
**Figura 2 – Composição Colorida – R1;G2;B3**



**Figura 3 – Cubo temporal**

As séries temporais são obtidas por meio da união de imagens ordenadas de acordo com a sequência dos dias e dos anos. Dessa forma se obtém um cubo, onde os eixos X (Linhas) e Y (Colunas) são a matriz de pixels das imagens inserida nas coordenadas geográficas, e o eixo Z representa o comportamento de cada pixel ao longo do tempo (Carvalho Júnior et. al., 2009). Na Figura 3 está demonstrado um cubo temporal com suas três dimensões, enquanto na Figura 4 é possível ver o perfil espectral do eixo Z, representando a variação dos valores do pixel, ambos extraídos da banda 2.

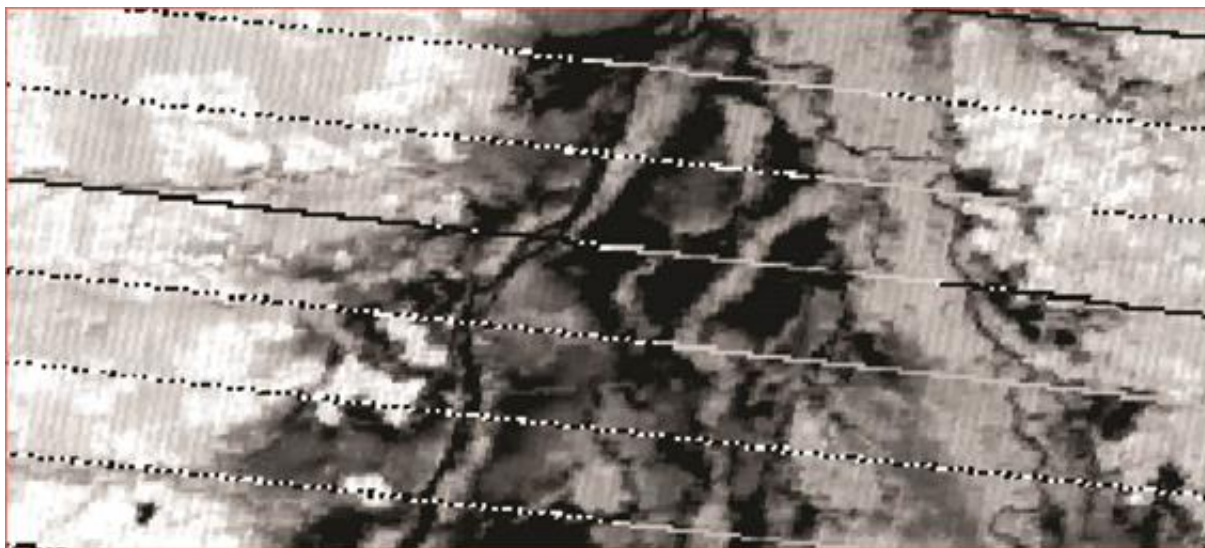
Devido à grande extensão latitudinal da área de estudo, ela se localiza entre duas cenas da grade sinusoidal do MODIS. Cada cena com 10 graus de aresta, implicando na necessidade de montar mosaicos com os cubos das cenas h13v09 e h13v10. Por fim, cada mosaico foi recortado na área de interesse e reprojetoado para o sistema de coordenadas UTM.



**Figura 4 – Perfil do espectro temporal original**

A análise do espectro temporal permite observar como cada região se comporta sazonalmente e as mudanças que ocorrem ao longo do tempo. Os dados brutos, porém, apresentam ruídos causados principalmente pela presença de nuvens, sombra de nuvens e interferências atmosféricas que se manifestam no espectro em forma de picos abruptos com valores destoantes da série, prejudicando a interpretação da informação (Figura 4) (Sakamoto et al., 2005; Carvalho Júnior et al., 2006). Neste produto foi identificada grande presença de ruído de faixas em diversas imagens da banda 5 (Figura 5) – conhecido como stripped noise, proveniente de falhas na calibração dos sensores, manifesta-se tanto na imagem quanto no espectro (Chang-yan et. al. 2008). O problema será abordado nas etapas seguintes.





**Figura 5 – Amostra de ruído na banda 5**

## 2.2 Índice NDWI

O índice NDWI, Normalized Difference Water Index ou Índice de Diferença Normalizada de Água, é calculado por meio de uma razão de bandas. Segundo Meneses e Almeida (2012), este tipo de operação matemática é usada para realçar alvos específicos, identificando as variações de reflectância em diferentes comprimentos de onda, no mesmo pixel, e realçando-as. Quanto maior a diferença entre o valor da reflectância das bandas mais alto será o índice. Quando esse valor for semelhante o índice será baixo.

Este índice foi desenvolvido por Bo-Cai Gao (1996), com o intuito de realçar o conteúdo interno de água na estrutura da folha. O cálculo deve ser aplicado da seguinte forma:

$$NDWI = \frac{\rho(0,86\mu m) - \rho(1,24\mu m)}{\rho(0,86\mu m) + \rho(1,24\mu m)}$$

O comprimento de onda de 0,86 $\mu m$  corresponde ao infravermelho próximo e o de 1,24 $\mu m$  ao infravermelho de ondas curtas. São, respectivamente, as bandas 2 e 5 do sensor MODIS, destacando que esta última foi exatamente a que apresentou maior intensidade de ruído.

A vegetação apresenta valores elevados para a faixa do infravermelho próximo, uma vez que sua reflectância para esta faixa do espectro é alta. O infravermelho de ondas curtas, por sua vez, apresenta maior sensibilidade para água, que absorve radiação neste comprimento de onda, do que para a celulose da folha, que reflete. Dessa forma, quando a folha contiver grande quantidade de água apresentará baixa reflectância, caso contrário, a

celulose será predominante, refletindo grande parte da radiação (GAO, 1996).

O NDWI apresenta valores altos para vegetação verde chegando a valores negativos quando a vegetação se encontra seca, tendendo a ser negativo para a maioria dos solos, úmidos ou secos, aumentando proporcionalmente de acordo com a cobertura vegetal (GAO, 1996).

A aplicação deste índice se mostra promissora, de acordo com o estudo de Gonzaga et. al. (2011), no qual ele foi mensurado para a área do município de Piranhas, em Alagoas. Foi identificada uma forte relação com a quantidade de chuva: no período seco o índice registrado foi predominantemente negativo, aumentando consideravelmente durante o período chuvoso. Outro caso de aplicação do índice NDWI foi a elaboração do *Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland* (E. P. A., 2005), demonstrando a aplicação do método em zonas úmidas, como a Ilha do Bananal.

A aplicação do índice para séries temporais deve demonstrar a fenologia de cada tipo de vegetação em relação à presença da água no sistema. Destaca-se que deve ser estudado o resultado obtido nas regiões sujeitas à inundação, que, a princípio, deve apresentar valores baixos quando inundadas e valores superiores quanto cobertas pelas gramíneas. Deste modo, calculou-se o índice NDWI a partir dos cubos temporais das bandas recomendadas, porém a presença de ruídos ainda dificulta a interpretação do perfil espectral, exigindo a aplicação de técnicas para eliminar essa interferência nos dados.

### **2.3 Tratamento de Ruídos**

Como já foi demonstrado, a presença de ruídos dificulta a análise das assinaturas temporais, especialmente no conjunto de dados que está sendo utilizado neste trabalho, portanto é necessária a aplicação de técnicas para a filtragem e eliminação dessas irregularidades.

Nesta etapa será utilizada uma técnica que combina a aplicação de dois filtros estatísticos. Primeiramente será empregado o filtro convolucional de mediana para eliminar picos isolados, e em seguida o filtro de Savitzky-Golay para corrigir os demais ruídos e suavizar o espectro como um todo.

Carvalho Júnior et. al. (2008) utiliza o filtro de mediana em séries temporais NDVI do sensor MODIS, explicando que ele atua ao longo do espectro minimizando as variações abruptas. A partir de uma janela definida pelo pesquisador, o valor mediano dos dados de

input é selecionado para substituir o valor do pixel central desta janela (Carvalho Júnior et. al., 2012).

Após diversos testes foi identificada a melhor maneira de se aplicar esta técnica no cubo temporal NDWI, com o único objetivo de eliminar grandes picos, preservando o restante da sequência de dados. Utilizou-se uma janela de 7 pixels, e uma tolerância de 0,05 unidades. Esta tolerância define quais valores serão substituídos, comparando o espectro original com o espectro obtido pelo método da mediana: quando a diferença entre os dois for maior que a estipulada, o dado será substituído por meio de uma interpolação linear.

O filtro de mediana tem uma aplicação simples e muito efetiva na redução de ruído de impulso, composto de grandes picos, porém não é eficiente quando o ruído é proveniente da cobertura de nuvens e sombras em sucessivas imagens da série temporal (Carvalho Júnior et. al., 2012).

Para eliminar o ruído remanescente será aplicada a técnica de filtragem desenvolvida por Savitzky e Golay (1964) com o objetivo de suavizar séries de dados encaixando polinômios de quadrados mínimos com grau variável em intervalos dessas séries, obtendo novos valores para o ponto central do conjunto de dados desse intervalo. É um filtro lowpass com a vantagem de eliminar ruídos ao mesmo tempo em que preserva a forma e o tamanho do espectro, não prejudicando os dados (Schafer, 2011). O filtro Savitzky-Golay foi aplicado por Chen et. al. (2004) em séries NDVI para eliminar ruídos da mesma natureza que os encontrados na série NDWI em questão.

A questão central desse filtro é a escolha do intervalo que será usado para calcular o polinômio. Savitzky e Golay (1964) destacam que os melhores resultados são obtidos quando há uma grande densidade de dados – intervalos pequenos e fixos entre os dados – e a janela de amostras é pequena o suficiente para não englobar mais de uma inflexão em nenhum intervalo da convolução, caso contrário podem ocorrer distorções. A janela se desloca pelo espectro assim como a janela da mediana. A melhor maneira encontrada para aplicar o filtro Savitzky-Golay foi com uma janela de 15 pontos, o que foi feito duas vezes para se obter o melhor resultado e permitir que os diferentes comportamentos espectrais dos alvos sejam identificados e classificados.

## **2.4 Classificação e Detecção de Mudança**

Esta etapa consiste na classificação do uso da terra e na identificação dos padrões de comportamento temporal do índice NDWI nos diferentes alvos da superfície terrestre.



Primeiramente será feita uma classificação não-supervisionada pelo método ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*). O resultado serviu de base para identificar os diferentes comportamentos espectrais e usa-los para reclassificar a imagem por meio do classificador SAM (*Spectral Angle Mapper*). Ao longo do processo também procurou-se identificar onde esses padrões sofreram alteração ao longo do período estudado.

A classificação não-supervisionada, ou classificação automática, permite uma categorização preliminar da área de estudo à medida que identifica padrões de similaridade espectral no conjunto de dados, que devem ser interpretados pelo pesquisador posteriormente. Segundo Meneses e Sano (2012), ela é utilizada quando se deseja fazer uma classificação exploratória da imagem, portanto só tem utilidade se for possível associar essas classes a padrões reconhecíveis na superfície terrestre.

Métodos que agrupam pixels baseados nas suas similaridades espectrais são chamados de clustering, como é o caso do ISODATA. Esta técnica classifica todos os pixels da imagem baseando-se na distância espectral, em um processo de auto-organização dos dados que passa por diversas iterações, reclassificando a imagem por completo a cada etapa do processo. É utilizado quando não se tem certeza da quantidade de classes possíveis a serem definidas em cada imagem e funciona com o mínimo de informação fornecida pelo analista, que apenas define alguns parâmetros básicos para a classificação, como o número mínimo e máximo de classes a serem encontradas e a quantidade de iterações (Meneses & Sano, 2012).

O processo de classificação é iniciado a partir de um número aleatório de pontos centrais de agrupamentos dos pixels uniformemente distribuídos no conjunto de dados. A partir daí é estimada a distância entre cada pixel e os centros desses clusters, classificando cada um de acordo com a mínima distância. Após essa primeira classificação é calculada a média de cada agrupamento, que servirá de centro para a iteração seguinte, reclassificando toda a imagem novamente de acordo com os novos centroides. Este processo se repete até atingir o número de iterações estipulado pelo analista (Meneses & Sano, 2012).

Uma das características do ISODATA é a divisão e fusão de classes ao longo do processo, sempre respeitando os limites definidos. A divisão ocorre quando o desvio padrão dos dados em um cluster é maior que o estipulado pelo pesquisador, já a fusão de classes ocorre quando a distância entre os centros de agrupamento é menor do que a tolerada pelos parâmetros iniciais (Meneses & Sano, 2012).

Para classificar a série temporal NDWI da Ilha do Bananal buscou-se identificar de 4 a 8 classes e, devido a grande quantidade de dados, foram estipuladas apenas 3 iterações. A partir desse resultado é possível identificar os grupos distintos de pixels e interpretar a classificação preliminar em busca de padrões espectrais distintos, que correspondem às assinaturas temporais existentes na superfície terrestre.

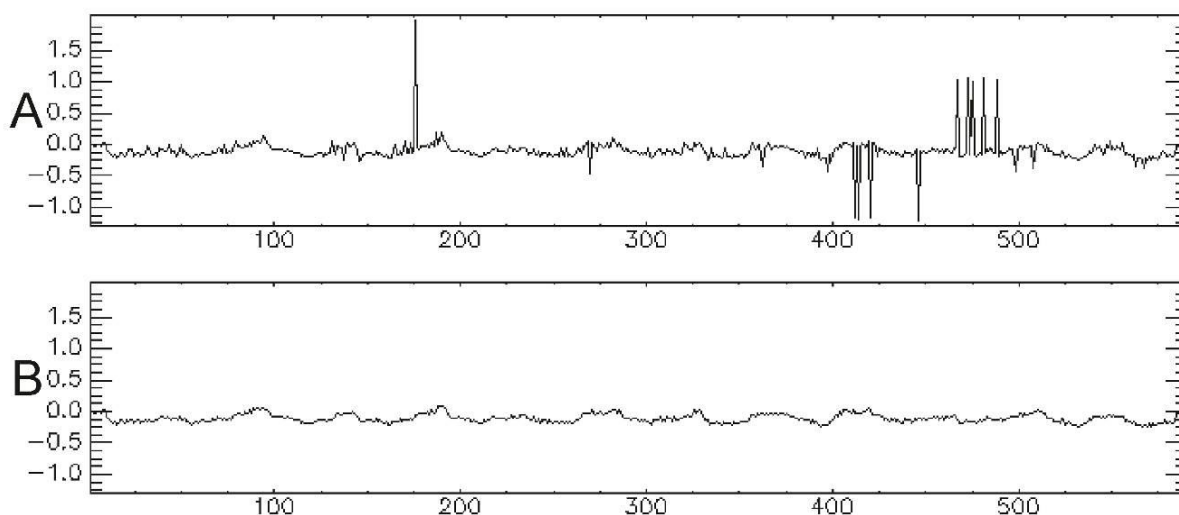
As assinaturas temporais NDWI identificadas foram utilizadas para montar uma biblioteca de referência para a classificação espectral, que compara a curva espectral de cada pixel com as de referência (endmember) a partir de um critério de distância, similaridade ou dissimilaridade (Carvalho Júnior et. al., 2003, 2009). O classificador SAM identifica a similaridade calculando o ângulo entre os dois espectros por meio do arco-cosseno, trabalhando-os como vetores em um espaço com um número de dimensões igual ao número de bandas da imagem (Kruse, 1993). Segundo Bias et al. (2012), quanto menor o ângulo entre o espectro analisado e o endmember maior é a similaridade. Dessa forma produziu-se a classificação definitiva de cobertura da superfície da Ilha do Bananal.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos serão analisados em duas etapas. Primeiramente, a eficácia dos procedimentos realizados para o tratamento de ruído será discutida comparando os espectros resultantes do filtro de mediana e de Savitzky-Golay. Em seguida as classificações por meio do ISODATA e do SAM serão avaliadas e comparadas em conjunto com a análise das assinaturas temporais dos alvos identificados.

#### 3.1 Resultado do Tratamento de Ruídos

Observando a Figura 6 é possível comparar a assinatura temporal NDWI do mesmo pixel antes e depois da aplicação do filtro de mediana. Nota-se que os picos com valores extremamente altos e baixos foram eliminados ao mesmo tempo em que a forma da curva espectral foi preservada. Ainda percebe-se a presença de ruído no espectro, embora de natureza e características distintas, com menor intensidade, porém em maior frequência.

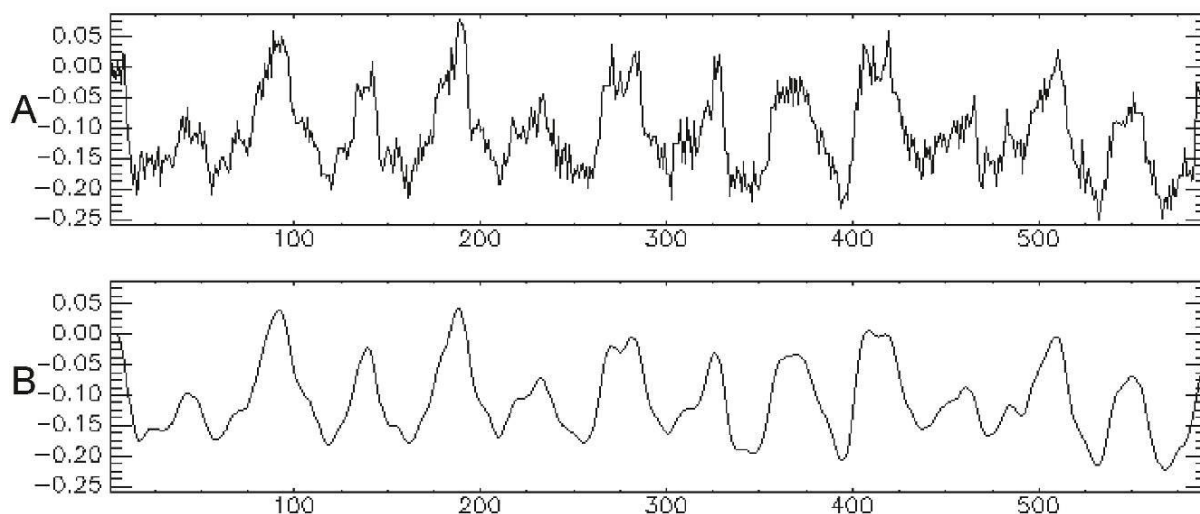


**Figura 6 – Resultado do Filtro de Mediana - A) Espectro original; B) Espectro após a o filtro de mediana**

As curvas espectrais demonstradas na Figura 7 são do mesmo pixel da figura anterior. O primeiro espectro corresponde ao resultado do filtro de mediana, assim como o espectro B da Figura 6, mas em uma escala de valores diferente, onde é possível visualizar de maneira mais clara o ruído remanescente. Já o segundo perfil espectral é o resultado final do tratamento de ruído após a aplicação do filtro de Savitzky-Golay.

A presença de ruído no espectro temporal foi completamente removida pelo filtro, aparentemente preservando a forma das curvas espectrais, obtendo uma assinatura temporal suavizada. É importante frisar que o resultado foi obtido pela aplicação em conjunto dos dois

filtros, uma vez que o filtro de mediana não teria a capacidade de suavizar a curva dessa forma e o Savitzky-Golay não eliminaria os picos. Esse resultado permite identificar as características espectrais de cada alvo com maior facilidade, uma vez que a visualização dos



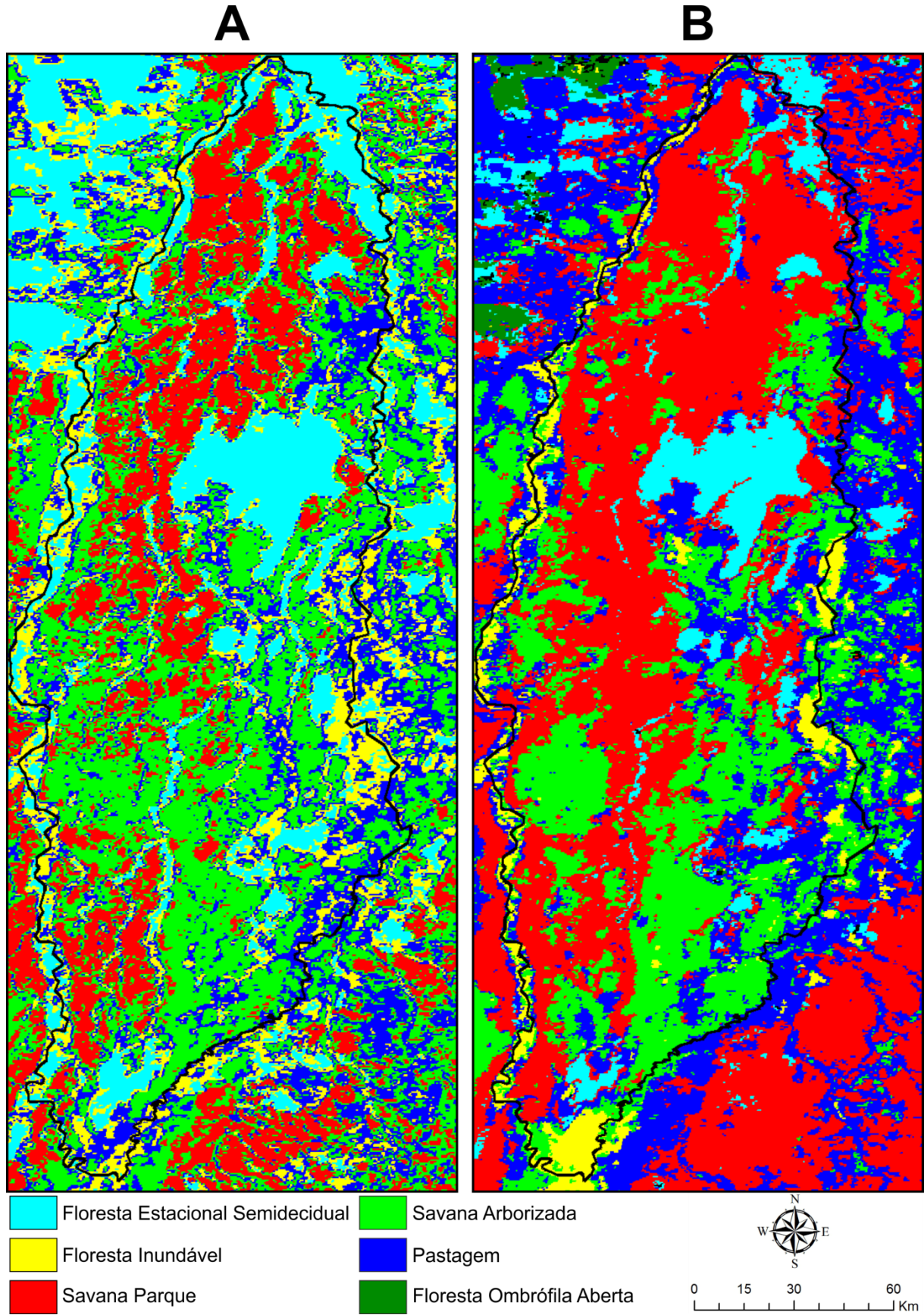
padrões temporais foi favorecida.

**Figura 7 – Resultado do Savitzky-Golay - A) Espectro após o filtro de mediana; B) Espectro após o filtro de Savitzky-Golay**

### 3.2 Resultado da Classificação e Detecção de Mudança

Para uma análise mais acurada da classificação é necessária certa atenção à descrição da vegetação e dos usos da terra da área de estudo. Primeiramente, retomar a ideia de que a região está em uma área de ecótono, portanto, podem ocorrer conflitos e misturas de padrões de vegetação em certos pontos. Outra questão diz respeito à identificação dos três grupos fitogeográficos da região: 1) Savana; 2) Floresta Ombrófila Aberta; e 3) Floresta Estacional Semidecidual.

Na Figura 8, vê-se o resultado de ambas as classificações, respectivamente, o ISODATA e o SAM. Em uma análise preliminar é possível afirmar que o SAM gerou classes mais homogêneas, além de ter encontrado mais classes de usos da terra. Isso se deve ao fato de terem sido realizadas apenas 3 iterações no ISODATA que tende a homogeneizar as classes a cada iteração, além de aprimorar a quantidade de classes por meio dos processos de divisão e fusão dos clusters. Também é importante apontar que, enquanto o ISODATA classificou toda a imagem, alguns pixels não foram enquadrados em nenhum grupo pelo classificador SAM.

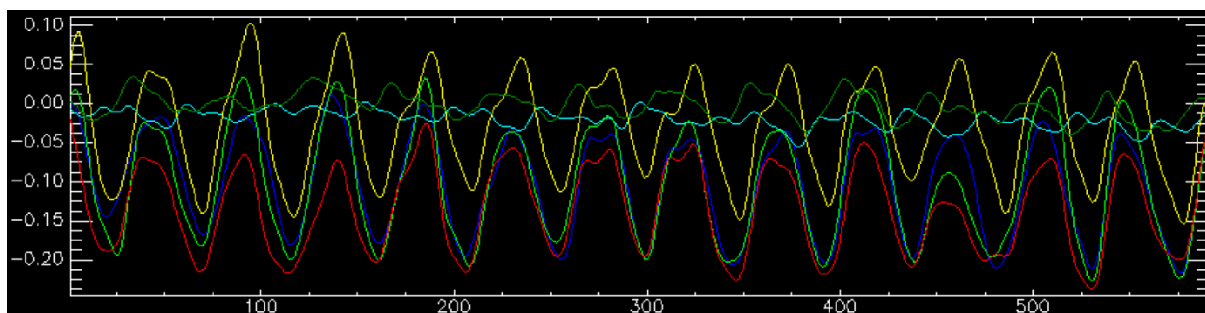


**Figura 8 – Resultado da Classificação – A) ISODATA; B) SAM**



Em uma análise mais específica do resultado do ISODATA percebe-se que foram identificadas 5 classes. Nota-se uma relação entre as cores amarela e ciano ao longo dos cursos d'água, embora a classe de cor ciana se agrupe em outras regiões, como na Mata do Mamão ao centro da Ilha do Bananal. É possível dizer que na cor ciano predomina a formação de floresta estacional semidecidual aluvial, enquanto a cor amarela corresponde a florestas inundáveis. As classes do vermelho e do verde representam a vegetação mais encontrada na região, respectivamente savana parque e savana arborizada. Por fim, o azul parece estar ligado à pecuária, embora se confunda com algumas áreas que podem ser consideradas como cerrado de campo limpo e sua transição para formações mais densas. Destaca-se que o ISODATA não segregou nenhum agrupamento de pixels que possa ser enquadrado no grupo da Floresta Ombrófila Aberta.

Para entender o resultado do SAM é necessário analisar os endmembers da biblioteca espectral utilizada para a classificação (Figura 9), onde foram identificadas 6 assinaturas temporais distintas, procurando manter as cores das classes geradas pelo ISODATA.



**Figura 9 – Biblioteca Espectral**

A variação no perfil espectral da savana parque em vermelho é semelhante à da savana arborizada em verde claro, porém o segundo apresenta valores mais altos para o índice NDWI, devido à maior densidade de vegetação lenhosa e de gramíneas. Na imagem identifica-se grande predominância da savana parque na Ilha do Bananal e também a sudeste dela. A savana arbórea se agrupa em uma faixa na parte sudeste da ilha e em uma mancha mais a oeste dessa área.

A classe em amarelo identificada como floresta inundável anteriormente foi novamente encontrada ao longo dos principais rios. Seu espectro demonstra uma grande variação sazonal devido às inundações regulares, porém também apresenta os maiores valores para índice NDWI, indicando grande presença de água na composição da folha nesses períodos.

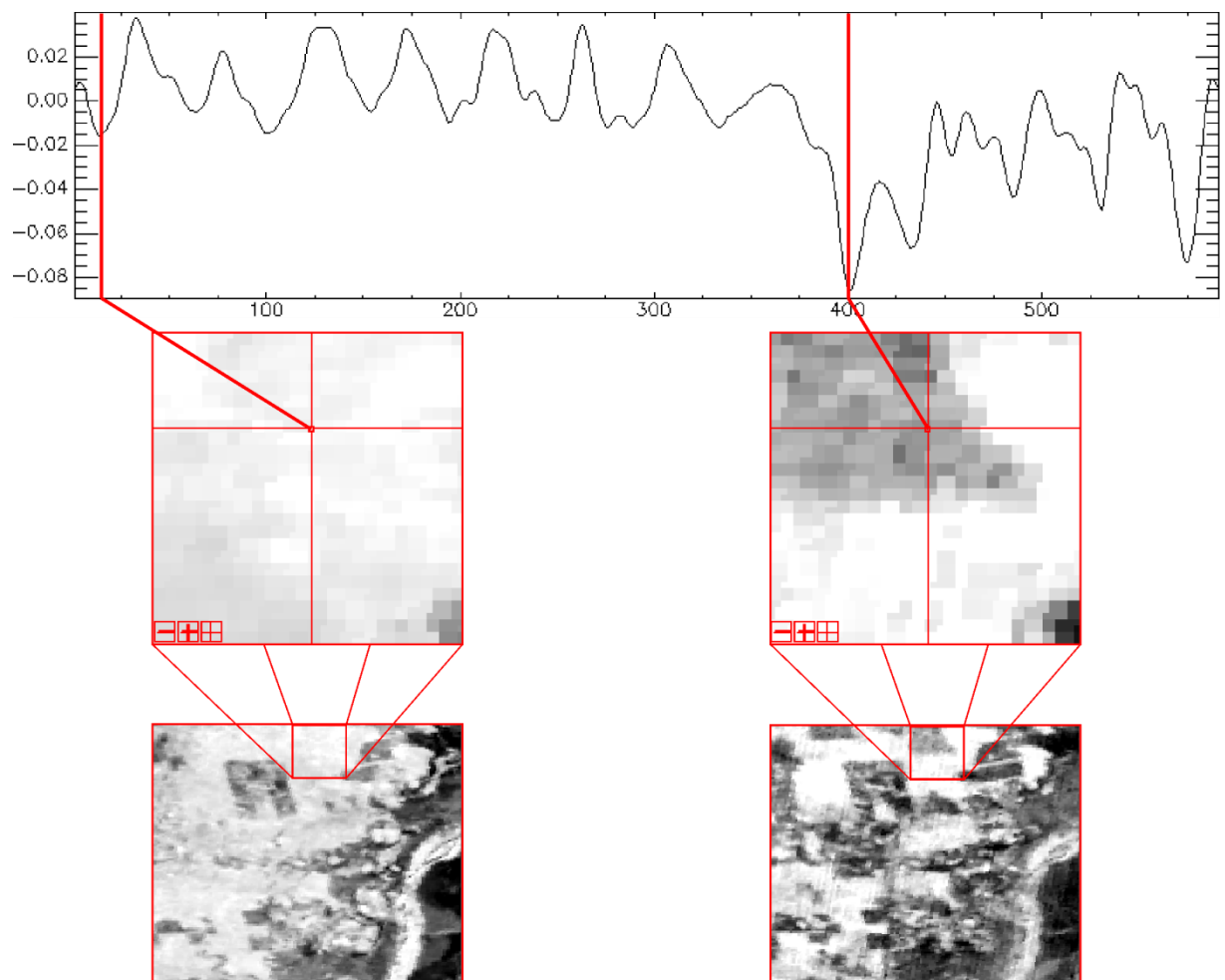
Já a classe do ciano foi encontrada em menor quantidade, mas ainda se identifica claramente sua presença na Mata do Mamão e no norte da Ilha do Bananal, também sendo encontrada nos arredores, ao norte e noroeste. Como a classe foi restringida espacialmente é possível afirmar com mais precisão que se trata da floresta estacional semidecidual aluvial. Embora seja semidecidual apenas 30% de suas espécies são caducifólias, portanto sua assinatura temporal não apresenta grande variação, já que ela não perde folhas o suficiente para expor o solo, além do fato de ser uma formação aluvial com grande disponibilidade hídrica ao longo do ano.

Com o SAM foi possível identificar também a floresta ombrófila aberta, na classe de cor verde escura, embora não tenha sido encontrada dentro da ilha, somente ao noroeste da região, já adentrando o bioma amazônico. Esse fato pode ser atribuído ao caráter de transição da região que fica evidente ao analisar a imagem como um todo. Seu espectro apresenta valores elevados para o índice NDWI, e uma variação maior que a floresta aluvial por não estar associada aos cursos d'água, embora ainda pequena em relação às outras assinaturas.

A classe do azul, ao contrário do ciano, teve maior presença na classificação do SAM, sendo encontrada predominantemente fora da Ilha do Bananal. É admissível afirmar que dentro dela estejam as áreas de pecuária, que é praticada nos arredores da ilha, embora, assim como no ISODATA, tenha ocorrido certa confusão com as áreas de campo limpo e campo sujo dentro e fora da Ilha do Bananal. Sua assinatura temporal se assemelha com outras formações de savana, mas apresenta maior regularidade anual, com valores ligeiramente superiores à savana parque e inferiores à savana arborizada.

Analisando os pixels ao norte da imagem que não foram classificados pelo SAM foi identificada uma mudança brusca na assinatura temporal, que pode ser vista na figura 10, junto com um recorte da área em que o espectro está inserido. Além da queda repentina no índice NDWI, também ocorreu mudança no padrão de sazonalidade, indicando que houve uma alteração permanente no uso do solo.

Analisando as imagens é possível ver o padrão geométrico em tons mais escuros, portanto, a mudança foi fruto de ação antrópica e, conhecendo a dinâmica socioeconômica da região, é presumível que a área tenha sido desmatada para a criação de gado. Percebe-se que toda essa região no entorno da Ilha do Bananal vem passando pelas mesmas mudanças, o que pode gerar grande pressão ambiental para as unidades de conservação, uma vez que estão na área de influência definida pelo plano de manejo do Parque Nacional do Araguaia (2001).



**Figura 10 – Detecção de Mudança**



## CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho foi demonstrada uma aplicação prática de métodos de análise temporal contínua de séries de imagens MODIS. O sensor utilizado e seus produtos se mostraram adequados aos objetivos do trabalho e à área de estudo, devido à grande abrangência espacial e alta resolução temporal, além de apresentar as bandas necessárias ao cálculo do índice NDWI.

Para que se pudesse trabalhar com as assinaturas temporais, foi realizado um processo de tratamento de ruído combinando o filtro de mediana com o filtro de Savitzky-Golay. Ambos foram aplicados de maneira correta, eliminando diferentes tipos de ruído e suavizando o espectro de forma satisfatória.

O método utilizado para a classificação se mostrou promissor, sendo possível interpretar o resultado ISODATA para identificar as assinaturas temporais NDWI dos alvos que serviram de parâmetro para o classificador espectral SAM. Foi gerada uma classificação final com classes mais homogêneas e melhor definidas, além de ter sido encontrada a assinatura temporal de uma nova fisionomia. É necessário, porém, um esforço maior para separar as áreas de pecuária de outras áreas de campo, embora seja reconhecida a dificuldade conceitual disso pela grande semelhança das assinaturas temporais desses alvos. Também cabe ressaltar que é possível agregar dados novos ao final de cada ano para repetir a aplicação desta metodologia e realizar um acompanhamento contínuo.

O resultado final foi coerente com a descrição da Ilha do Bananal dos estudos citados. Os três grupos fitogeográficos foram identificados, além de ficar visível o caráter de transição entre o Cerrado e a Amazônia. Também foi possível detectar transformações no uso da terra da Planície do Bananal, demonstrando uma tendência de expansão da pecuária que deve ser estudada e monitorada com mais atenção para evitar impactos ambientais nas áreas do Parque Nacional do Araguaia e nas Terras Indígenas.

É importante dar continuidade a esta pesquisa buscando métodos automáticos de detecção de mudança, além de uma maneira de gerar classificações anuais para que seja possível acompanhar a mudança. Para isso será necessário fragmentar o espectro em períodos de 46 imagens, obtendo assim uma amostra anual daquela curva espectral que pode ser utilizada para classificar cada pixel ano a ano e depois compara-los. Além disso, devem ser utilizados outros índices e bandas espectrais na classificação para comparação de resultados.

A análise da paisagem em um contexto temporal é primordial para entender a configuração do espaço geográfico, no caso da Ilha do Bananal essa pesquisa tem implicação nas políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da agropecuária, para a gestão de recursos hídricos e para a preservação ambiental. Esse é ponto de partida para se entender a relação entre o homem e a natureza no seu contexto político, econômico e social, e, se possível, encontrar equilíbrio entre as diversas funções do território.

## BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, L. O.; LATORE, M. L.; SHIMAKUBURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Sensor MODIS: uma abordagem geral. Technical Report. INPE-10131-RPQ/752. São José dos Campos, 2003.

ARAÚJO, J. B., CARNEIRO, R. G. Planície do Araguaia, reconhecimento geológico-geofísico. Belém, PETROBRAS-Região Norte, 1977. 11 p. (Relatório Técnico Interno, 348).

BIAS, E. B.; BRITES, R. S.; ROSA, A. N. C. S. Imagens de alta resolução espacial. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed Brasília: UnB, 2012. cap.15, p.239-257.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 22. Tocantins: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia. Brasília, 2001.

CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. de. Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE. São José dos Campos, 2001.

CARVALHO JÚNIOR, O.A.; CARVALHO A.P.F.; GUIMARÃES, R.F.; MENESES, P.R. Mistura

espectral: (II) classificadores espectrais para identificação. Espaço & Geografia, vol.6, n.1, p. 177-197, 2003.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação dos Classificadores Espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em Séries Temporais NDVI-MODIS no Campo de Instrução Militar de Formosa (GO). Revista Brasileira de Cartografia. Nº 61(04). p. 399-412. 2009.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do rio Paranã a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. Revista Brasileira de Geofísica, v.24, n.3, p.319-332, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.;

GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no parque Nacional Chapada dos Veadeiros. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.26, n.4, p.505-517, 2008.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SILVA, N. C.; CARVALHO, A. P. F.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Combining Noise-Adjusted Principal Components transform and median filter techniques for denoising MODIS temporal signatures. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 30, n. 2, p. 147-157, 2012.

CHANG-YAN, C.; JI-XIAN, Z.; ZHENG-JUN, L. Study on methods of noise reduction in a stripped image. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B6b. Beijing 2008

CHEN, J.; JONSSON, P.; TAMURA, M.; GU, Z. H.; MATSUSHITA, B.; EKLUNDH, L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter, *Remote Sensing of Environment*, vol. 91, p.332-344, 2004.

COPPIN, P.R.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J. Remote Sens.* 2004, 25, 9, 1565-1596.

CHRISTOFOLETTI, A. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: A. Christofolletti (ed). *Perspectivas da Geografia*. São Paulo, Difel, 1985. v.

D'ALGE, J, C, L. Cartografia para Geoprocessamento. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. INPE. São José dos Campos, 2001.

DA SILVA, A; LOPES, R; VASCONCELOS, A; BAHIA, Rui. Bacias sedimentares paleozóicas, meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS C. ; VIDOTTI, R. ; GONÇALVES, J. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. Cap 3, 55-85.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland, Version 1.2. Queensland Government, Brisbane, 2005.

GAO, B. NDWI- a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 1996, 58, 257-266.

GONZAGA, E. P.; NICÁCIO, R. M.; SANTOS, V. V. dos. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Florianópolis. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F., MASUOKA, E., WOLFE, R.E., SALEOUS, N., ROY, D.P., MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002.

KRUSE F. A.; LEFKOFF A. B.; BOARDMAN J. W.; HEIEDBRECHT K. B.; SHAPIRO A. T.; BARLOON P. J.; GOETZ A. F. H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 44: 145–163, 1993.

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y.O.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. *Espaço & Geografia*, v.6, Nº1, 2003.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. Geomorphology and Environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. *Zeischrift Fur Geomorphologie*, Tubingen, Alemanha, 2002, 129, 109-127.

LUNETTA, R. L.; KNIGHT, F. K.; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L.D. Landcover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. 2006, 105, 142-154.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Aritmética de Bandas. In:\_\_\_\_\_. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed Brasília: UnB, 2012. cap.9, p.138-153.

MENESES, P. R.; SANO E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed Brasília: UnB, 2012. cap.12, p.191-208.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens. *Biota Neotropica*, v. 1, p. 1-9, 2001.

MILNE, A. K. Change direction analysis using Landsat imagery: a review of methodology. IGARSS'88 Symposium Edinburgh, Scotland, 1988 ESA SP-284, pp. 541–544.

MORAES, A. C. R. de. Geografia – Pequena História Crítica. São Paulo: Hucitec, 1981.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. MODIS Specification. Disponível

em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Acesso em: julho de 2013.

RAMSAR. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat (Iran), 2 February 1971. UN Treaty Series No. 14583. As amended by the Paris Protocol, 3 December 1982, and Regina Amendments, 28 May 1987.

RAMSAR. The List of Wetlands of International Importance. 2013. Disponível em: <<http://www.ramsar.org/pdf/sitelist.pdf>>. Acesso em: julho de 2013.

SAKAMOTO, T, YOKOZAWA, M, TORITANI, H, SHIBAYAMA, M, ISHITSUKA, N, OHNO, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 96 (2005), 366-374.

SANTOS, M. Por uma Geografia Nova. São Paulo, Hucitec, 1978.

SANTOS, M. Espaço e Método. São Paulo, Nobel, 1985.

SANTOS, M. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção. São Paulo, Hucitec, 1996.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. Analytical Chemistry, 36, p. 1627-1639, 1964.

SCHAFER, R. W. What is a Savitzky-Golay filter. IEEE Signal Processing Magazine, vol. 28, n 4, pp.111 -117, 2011.

STEINBERGER, M. Território, ambiente e políticas públicas espaciais. In: STEINBERGER, M. (org). Território, ambiente e políticas públicas espaciais. Brasília: Paralelo 15, 2006.

UNESCO. List of biosphere reserves which are wholly or partially Ramsar Wetlands. 2009. Disponível em: <[http://www.unesco.org/mab/doc/brs/brs\\_ramsar.pdf](http://www.unesco.org/mab/doc/brs/brs_ramsar.pdf)>. Acesso em: julho de 2013.

VERMOTE, E.F., KOTCHENOVA, S.Y., RAY, J.P. MODIS surface reflectance user's guide. 2008.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B. Global vegetation phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evaluation of global patterns and comparison with in situ measurements. Journal of Geophysical Research 2006, 111, G04017.